



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①⑫ Offenlegungsschrift  
①⑩ DE 43 36 318 A 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**G 01 B 11/02**  
G 02 F 2/00  
G 01 B 11/02  
G 02 F 1/01

②① Aktenzeichen: P 43 36 318.0  
②② Anmeldetag: 25. 10. 93  
④③ Offenlegungstag: 27. 4. 95

DE 43 36 318 A 1

⑦① Anmelder:  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑦② Erfinder:  
Dorsel, Andreas, Dr.rer.nat., 07745 Jena, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Anordnung zur Frequenzverschiebung von Licht, insbesondere in einem interferometrischen Meßsystem

DE 43 36 318 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 03. 95 508 017/328

5/30

## Beschreibung

Für Heterodynmeßverfahren, z. B. in der Interferometrie, ist es oft wünschenswert, einen Lichtstrahl in seiner Frequenz zu verändern. Dabei ist eine frei wählbare Verschiebung  $\Delta f$  der Frequenz von besonderem Interesse.

Weniger wichtig ist in vielen Fällen die Unterdrückung von Oberwellen der Verschiebungsfrequenz, da die schmalbandige Detektion diese oft unterdrückt.

In WO 92/19930 ist in einer interferometrischen Meßanordnung zur hochauflösenden Dickenmessung (OCDR) (siehe dazu auch Youngquist u. a., Optics Letters, Vol. 12, No. 3/March 87), mit einer Lichtquelle vorzugsweise kurzer Kohärenzlänge, im Referenzstrahlengang des Interferometers ein akustooptischer Modulator vorgesehen, um den modulierten Lichtstrahl zusätzlich in seiner Frequenz zu verschieben, damit das zu messende Signal nicht im Signalausrauschen des Meßsystems untergeht.

Der Einsatz von einem oder mehreren akustooptischen Modulatoren ist jedoch kostenaufwendig.

Akustooptische Modulatoren bewirken durch die Verwendung von beweglichen Gittern eine spektrale Einengung des Lichtes, was zu einer unerwünschten Vergrößerung der Kohärenzlänge führt.

Der Frequenzbereich ist sowohl für die Lichtfrequenz als auch für die Modulationsfrequenz eingeschränkt.

Die Erfindung geht daher von der Aufgabe aus, die Modulation ohne bewegte mechanische Teile vorzunehmen, wobei sowohl für die Lichtfrequenz als auch die Verschiebungsfrequenz ein großer Frequenzbereich zur Verfügung stehen soll.

Die Aufgabe wird bei einer gattungsgemäßen Anordnung durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die erfindungsgemäße Lösung ist besonders vorteilhaft beim Einsatz von Lichtquellen kurzer Kohärenzlänge einsetzbar. Bei integriert-optischem Aufbau können extreme Bandbreiten der Verschiebung bei geringer Leistungsaufnahme erzielt werden.

Der gewählte Spannungshub der Sägezahnspannung ergibt sich hierbei aus der linearen Beziehung von Spannungshub und Phasenhub sowie der Forderung, daß der maximale Phasenhub der Modulation  $2\pi$  oder ein ganzzahliges Vielfaches  $n \cdot 2\pi$  betragen soll. Der genannte Bereich der Modulationsfrequenz im MHz-Bereich ist besonders vorteilhaft bei der intraokularen Abtastung mittels einer OCDR-Anordnung anwendbar. Der Einsatz von Lichtquellen größerer spektraler Breite, wie z. B. Superlumineszenzdiode, wird ermöglicht.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 den zeitlichen Verlauf der Sägezahnspannung  $U(t)$  sowie der proportionalen Phasenverschiebung  $\Delta\gamma(t)$

Fig. 2 Die schematische Darstellung der Lichtmodulation beim Durchgang durch einen integriert optisch aufgebauten elektrooptischen Modulator.

Fig. 3 Eine interferometrische Meßanordnung zur Bestimmung der Abstände von Schichten und Strukturen, vorzugsweise zur Längenmessung im menschlichen Auge.

Der Zusammenhang zwischen der Phasenänderung  $\Delta\gamma$ , die der Modulator der Lichtwelle aufprägt, und der angelegten Spannung  $U$ , ergibt sich aus der linearen

## Beziehung

$\Delta\gamma = k \cdot U$ , wobei

$k$  von der Wellenlänge des Lichtes abhängt.

Daraus ergibt sich die maximale Spannungshub  $U_0$  der sägezahnförmigen Modulationsspannung zu

$$U_0 = \frac{2\pi \cdot n}{k}, \quad n = 1, 2, \dots$$

Durch Änderung des Vorzeichens des Anstiegs der modulierenden Sägezahnspannung kann das Vorzeichen der Frequenzverschiebung verändert werden.

Der sägezahnförmige Spannungsverlauf bewirkt über den linearen Zusammenhang zwischen Phasenhub des Modulators und der an diesem anliegenden Spannung eine geringfügige zeitproportionale Phasenverschiebung über die Dauer des Anstiegs des Sägezahns und eine größere zeitabhängige Phasenverschiebung entgegengesetzten Vorzeichens über die kurze Rücklaufzeit des Sägezahns. Eine zeitproportionale Phasenverschiebung ist äquivalent zu einer Frequenzverschiebung. Eine typische Lichtfrequenz wäre ca.  $4 \cdot 10^{14}$  Hz. Bei einer Modulationsfrequenz von 400 Mz bedeutet dies, daß ca. 1 Million Schwingungen der Lichtwelle in den Anstiegszeitraum des Sägezahns fallen.

Geht man von einem steilen Abfall des Sägezahns in beispielsweise 1/100 der Modulationsperiode  $t_0$  aus, so würden in diesem Zeitraum 10 000 Lichtoszillationen erfolgen.

Bei einem linearen Rücklauf der Sägezähne, der normalerweise nur unvollkommen realisiert ist, würde dies bedeuten, daß das Licht für die entsprechend kürzere Zeit um das 100-fache weiter in die entgegengesetzte Richtungsfrequenz verschoben wird als während des Anstiegs des Sägezahns.

Gleichzeitig ist dieses zweite Seitenband jedoch  $100 \times$  schwächer als das erwünschte Seitenband das um  $n \cdot f_0$  verschoben wird  $f_0 = 1/t_0$

$f_0$ : Modulationsfrequenz

$n$ : Phasenschub  $\frac{\Delta\gamma}{2\pi}$

Durch Überlagerung einer Gleichspannung kann ggf. die mittlere elektrische Leistungsaufnahme des Phasenmodulators minimiert werden.

Die Verwendung eines integriert-optischen Phasenmodulators, der z. B. aus Lithiumniobat aufgebaut sein kann, ist hierbei besonders vorteilhaft.

In Fig. 3 ist ein OCDR-Aufbau mit einem erfindungsgemäß angeordneten integriertoptischen Phasenmodulator IOPM dargestellt.

Die Abb. 3 zeigt einen OCDR-Aufbau unter Verwendung der erfindungsgemäßen Anordnung: Das Licht einer Strahlungsquelle  $S$  mit kurzer Kohärenzlänge fällt auf einen ersten Strahlteiler  $ST1$ ; ein Teil des Lichts läuft von dort auf den längs der Strahlachse verschiebbaren Spiegel  $MV$ , ein anderer Teil wird mittels einer Linse  $L1$  in den integriert-optischen Phasenmodulator IOPM eingekoppelt und an dessen Ausgang durch eine zweite Linse  $L2$  kollimiert; von einem festen Spiegel  $M$  reflektiert, durchläuft dies Licht die genannten Bau-

gruppen in umgekehrter Reihenfolge. Am ersten Strahlteiler ST1 überlagern sich die Teilstrahlen und laufen zu einem zweiten Strahlteiler ST2 und durch diesen hindurch auf die Probe, die hier eine transparente Platte ist. Das an Vorder- und Rückseite der planparallelen Probe reflektierte Licht wird durch den zweiten Strahlteiler ST2 auf den Detektor D umgelenkt.

Entspricht nun beim Verschieben von MV die Differenz der optischen Weglängen in den beiden (Interferometer-)Armen vom ersten Strahlteiler ST1 zu den Spiegeln M und MV der optischen Dicke der Probe  $n \cdot d$ , wobei  $n$  der Brechungsindex der Probe und  $d$  deren Dicke ist, so tritt auf dem Detektor eine Signalmodulation bei der Frequenz auf, die der insgesamt durch den IOPM aufgeprägten Frequenzverschiebung abzüglich der Dopplerverschiebung am bewegten Spiegel MV entspricht. Dieses Signal klingt bei Verstimmung der Weglängendifferenz über die Kohärenzlänge hinaus schnell ab.

In vielen Anwendungsfällen kann die Dopplerverschiebung auch gegenüber der Modulationsfrequenz vernachlässigt werden. Durch den doppelten Durchlauf des Lichtes verdoppelt sich die Frequenzverschiebung. Hierbei ist sicherzustellen, daß die Periode der Modulationsfrequenz groß gegen die Zeit ist, die das Licht benötigt, um den IOPM und die Strecke von dort bis zum Spiegel M zweimal zu durchlaufen. Der Spiegel M kann auch direkt auf die Chipkante des IOPM aufgebracht sein, was Modulationsfrequenzen bis zu GHz ermöglicht. In den Chip kann auch über Glasfasern ein- und ausgekoppelt werden, anstatt hierfür wie angezeigt die Stirnflächen zu nutzen. Der zweite Strahlteiler kann auch polarisierend sein, um in Verbindung mit einer Viertelwellenplatte unter  $45^\circ$  auf bekannte Weise eine verlustfreie Umlenkung des an der Probe reflektierten Lichtes auf den Detektor D zu erreichen.

#### Patentansprüche

1. Anordnung zur Frequenzverschiebung von Licht, insbesondere in einem interferometrischen Meßsystem, mit einem im Strahlengang angeordneten Modulationselement, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein elektrooptischer Phasenmodulator mit einem sägezahnförmigen Spannungssignal beaufschlagt wird, wobei der maximale Spannungshub  $U_0$  der Modulationsspannung

$$U_0 = \frac{2\pi \cdot n}{k} \quad \text{beträgt.} \quad 50$$

$$n = 1, 2, \dots \quad 55$$

$$k = \frac{\Delta \gamma}{U} \quad , \quad \Delta \gamma \text{ Phasenänderung} \quad 60$$

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das interferometrische Meßsystem aus optischen Mitteln zur Aufspaltung des Strahlenganges in einen Meß- und einen Referenzstrahl-

gang sowie zur Vereinigung des im Meß- und Referenzstrahlengang reflektierten Lichtes besteht und eine Analyseeinheit zur Erfassung und Auswertung der interferometrischen Strahlen vorgesehen ist, wobei der elektrooptische Phasenmodulator im Referenzstrahlengang angeordnet ist.

3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrooptische Phasenmodulator im Referenzstrahlengang einer OCDR-Anordnung angeordnet ist.

4. Anordnung nach Anspruch 1—3, gekennzeichnet durch eine Modulationsfrequenz im kHz bis GHz-Bereich.

5. Anordnung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine Modulationsfrequenz im Bereich von 1—100MHz.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1—5, gekennzeichnet durch die Verwendung eines integriert-optischen Modulators.

7. Anordnung nach einem der Ansprüche 1—6, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrooptische Modulator von der Referenzstrahlung zweimal durchlaufen wird.

8. Anordnung nach einem der Ansprüche 1—7, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem integriert-optischen Modulator die Reflektorfläche des Referenzstrahlenganges des Interferometers auf der Chipfläche angeordnet ist.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Chipkante zur Reflexion verspiegelt ist.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 1—9, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Analyseeinheit eine log- in Detektion des Detektorsignals bezüglich der Modulationsfrequenz erfolgt.

11. Anordnung nach einem der Ansprüche 6—10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ein- und Auskopplung in den integriert-optischen Modulator über Linsensysteme erfolgt.

12. Anordnung nach einem der Ansprüche 6—11, dadurch gekennzeichnet, daß die Ein- und Auskopplung über Lichtleiter erfolgt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

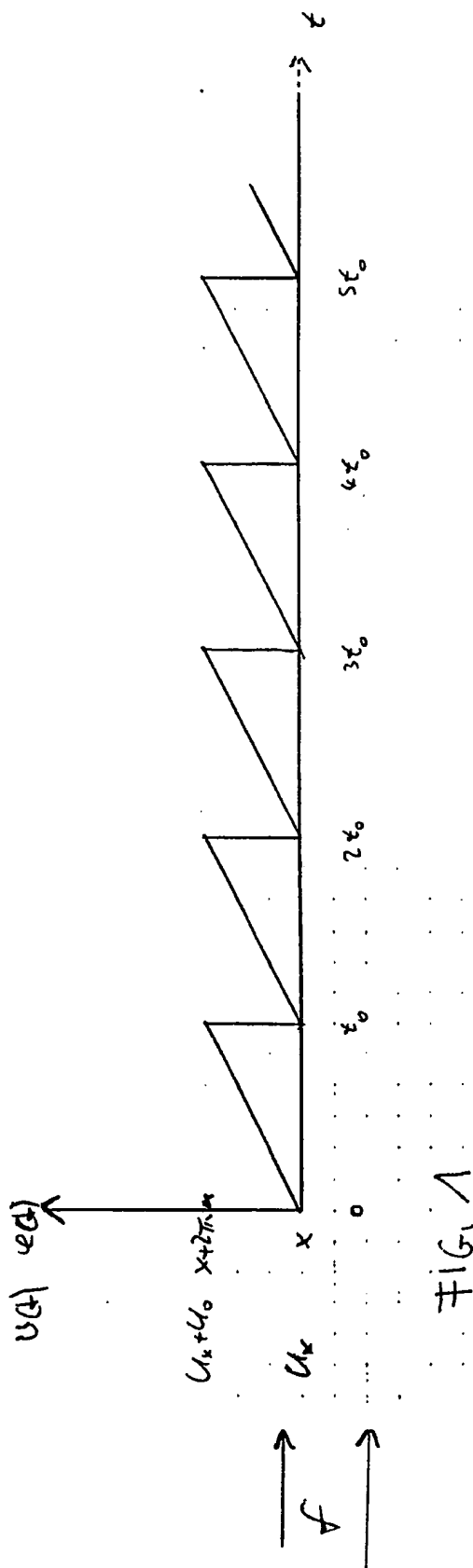


Fig. 2.

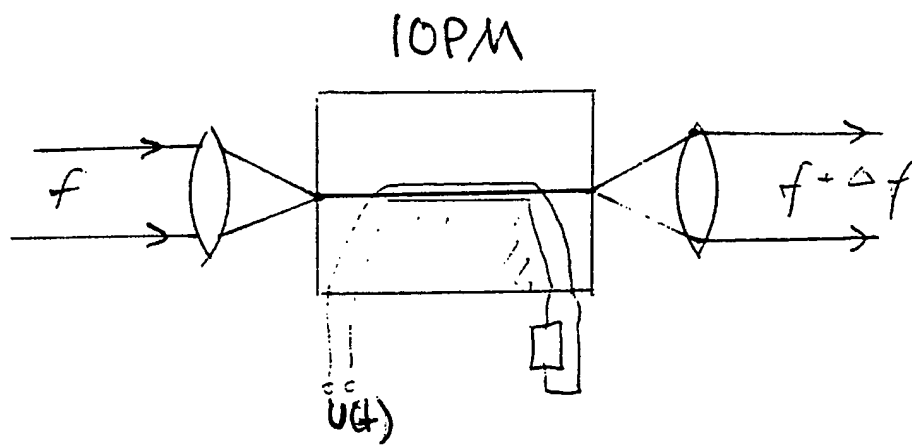


FIG. 2

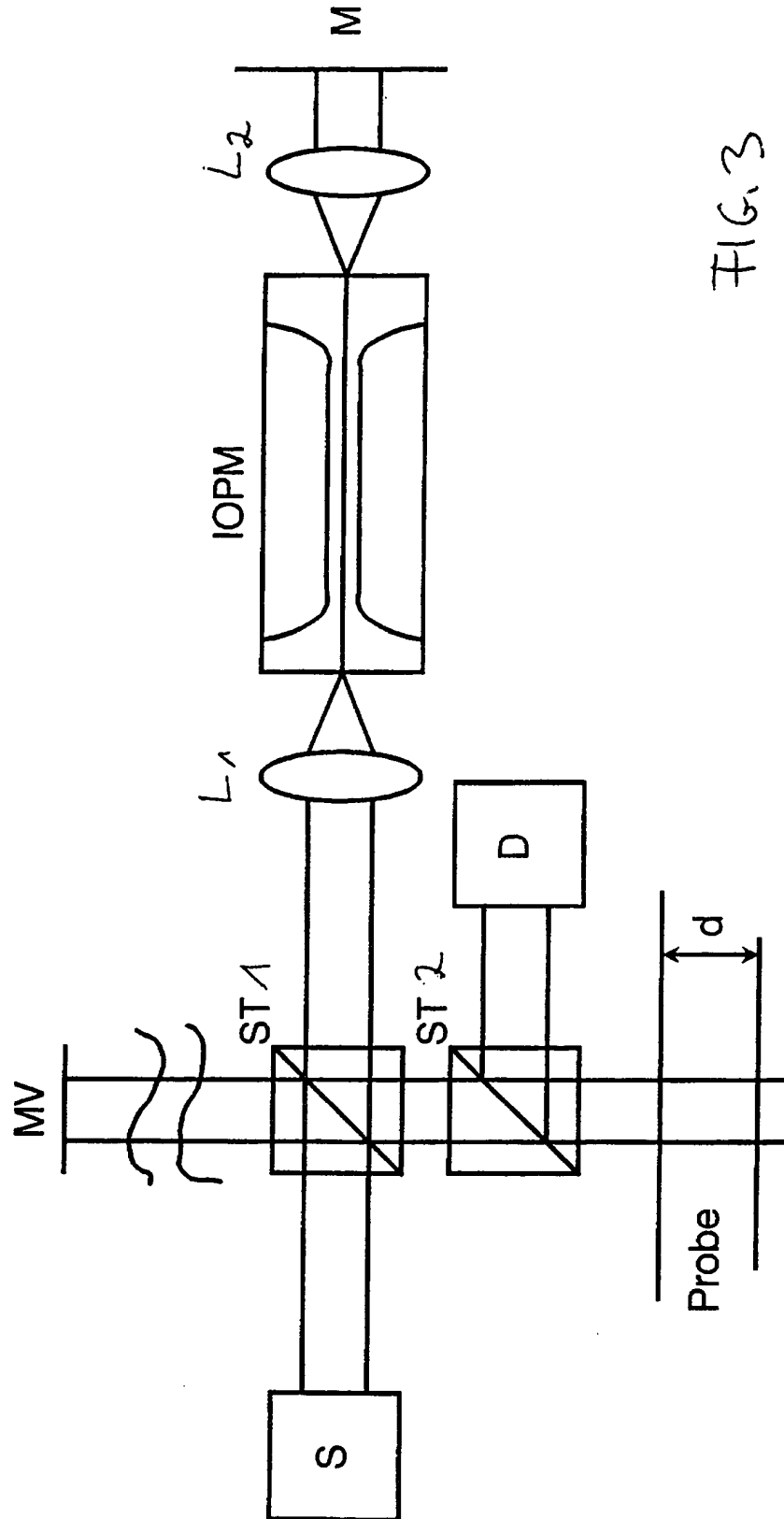


FIG. 3

07101993

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010261544 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1995-162799/199522

XPX Acc No: N95-127657

**Arrangement for frequency shifting of light - has light path separation and combining device, phase modulator in reference light path, analysis unit**

Patent Assignee: ZEISS JENA GMBH CARL (JENA )

Inventor: DORSEL A

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No Kind Date Applicat No Kind Date Week

DE 4336318 A1 19950427 DE 4336318 A 19931025 199522 B

Priority Applications (No Type Date): DE 4336318 A 19931025

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 4336318 A1 6 G01B-011/02

Abstract (Basic): DE 4336318 A

The interferometric measurement system contains an arrangement (ST1,ST2) for separating the light path into a measurement and a reference light path and for combining the reflected light in the two light paths.

An analysis unit (D) detects and evaluates the interfering light.

An electrooptical phase modulator (IOPM) arranged in the reference light path is subjected to a sawtooth voltage signal with maximum voltage range dependent on the phase change. The electrooptical phase modulator is an OCDR arrangement. A modulation frequency in the kHz to GHz range, in partic. in the 1-100 MHz range, can be used.

USE/ADVANTAGE - Esp. for interferometric measurement systems.

Modulation is performed without using moving parts; a large frequency range is available for the light frequency and for the shift frequency.

Dwg.3/3

Title Terms: ARRANGE; FREQUENCY; SHIFT; LIGHT; LIGHT; PATH; SEPARATE;  
COMBINATION; DEVICE; PHASE; MODULATE; REFERENCE; LIGHT; PATH; ANALYSE;  
UNIT

Derwent Class: P81; S02; V07

International Patent Class (Main): G01B-011/02

International Patent Class (Additional): G02F-001/01; G02F-002/00

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): S02-A03B2; V07-K01A; V07-K04

?